NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. E. GUYOU

CAPITAINE DE FRÉGATE,

CHEF DU SERVICE DES INSTRUMENTS DE NAVIGATION,

EXAMINATEUR D'ADMISSION A L'ÉCOLE NAVALE.

NANCY

IMPRIMERIE BERGER-LEVRAULT ET Cie

18, RUE DES GLACIS, 18

—

1892

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. E. GUYOU

—:o:—

Les travaux énumérés dans cette notice ont été classés en trois catégories :

1. **Théorie du Navire;**
2. **Navigation;**
3. **Divers.**

La théorie du navire est encore si peu avancée que, dans la plupart des cas, l'étude des propriétés mécaniques des bâtiments n'a pu être abordée qu'en recourant à des hypothèses simplifiant mais dénaturant les phénomènes, ou en introduisant des coefficients empiriques déduits d'expériences qui ne peuvent malheureusement être exécutées que dans des conditions différentes de la réalité.

Les questions énumérées ci-après font partie du petit nombre de celles qui ont pu être traitées en toute rigueur et dont, par suite, les solutions sont définitivement acquises. J'ai appliqué à la plupart d'entre elles des méthodes géométriques ; c'est ainsi que, dans la théorie de la stabilité des corps

flottants, et dans celle de la houle, au lieu de recourir aux équations de l'hydrodynamique et à leur intégration, j'ai pris pour point de départ les propriétés cinématiques et dynamiques qu'elles traduisent pour les éléments des systèmes, et j'en ai constitué la synthèse directement à l'aide des théorèmes généraux de la mécanique.

Outre l'avantage d'éviter les longs calculs qu'entraîne l'application de l'analyse à ces problèmes, ces méthodes m'ont paru offrir celui de parler aux yeux et de n'exiger du lecteur que des connaissances élémentaires. Tous ces sujets ont été reproduits dans les ouvrages classiques de l'École du génie maritime[1], et la plupart d'entre eux sont enseignés aujourd'hui à l'École navale.

Dans l'ouvrage d'ensemble publié en 1887 (*Théorie du navire*, Berger-Levrault et Cie), j'ai étendu ces méthodes à toutes les parties du sujet, et contribué, je crois, dans une mesure importante, à la vulgarisation parmi les officiers de marine d'une science du plus haut intérêt pour eux, et qui était restée jusqu'alors du domaine exclusif de l'ingénieur.

Parmi les questions de navigation citées plus loin, celles qui se rapportent aux sujets compris dans les programmes de l'École navale (courbes de hauteur, distances lunaires) sont également devenues classiques.

1. Cours autographié de M. Pollard, professeur à l'École du génie maritime, 1886-1887. — *Théorie du Navire*, par MM. Pollard et Dudebout, 1890, 1891, 1892; Gauthier-Villars.

I

THÉORIE DU NAVIRE

1) Courbures de la surface des centres de carène et de la surface des flottaisons. Théorèmes généraux. — (*Mémoires de la Société des sciences naturelles de Cherbourg*, t. XX. 1877. — *Cours autographié du Génie maritime*, 1886, p. 97, § 11, et p. 102.)

Ces théorèmes sont les suivants : 1° *L'indicatrice de la surface des centres de carène est semblable à l'ellipse centrale d'inertie de la flottaison ;*

2° *Si l'on considère deux flottaisons parallèles correspondant à des immersions z et $z + dz$, et que l'on désigne par I_α et $I_\alpha + dI_\alpha$ les moments d'inertie de leurs surfaces par rapport à une droite de direction α menée par leurs centres de gravité, la courbe obtenue en portant sur chaque direction une longueur proportionnelle à $\dfrac{1}{\sqrt{\dfrac{dI}{dz}}}$ est une conique (ellipse ou hyperbole) semblable à l'indicatrice de la surface des flottaisons.*

Le premier de ces théorèmes se déduit aisément des résultats acquis par Ch. Dupin ; mais il n'avait pas encore été signalé depuis que les travaux de Poinsot ont appelé l'attention sur les ellipses d'inertie.

Quant au second, il était entièrement nouveau, car il n'existait rien alors sur l'indicatrice de la seconde surface. Il a été déduit d'une expression très remarquable donnée par M. l'ingénieur *Émile Leclert* en 1870, des rayons de courbure des cylindres tangents à la surface des flottaisons.

2) Théorie de la houle. — (1877. *Revue maritime*, t. 54. — *Cours autographié du Génie maritime*, 1886, p. 272, 299, 302, 307.)

La théorie de la houle, étudiée simultanément en France et en Angleterre, en vue de l'étude des roulis, a fait l'objet de nombreux et importants mémoires de Sir Airy et de MM. Reech, Boussinesq, Bertin et de Benazé.

*

On a vérifié que la forme trochoïdale satisfaisait aux équations de l'hydrodynamique; mais, l'intégration directe de ces équations n'ayant pas encore été obtenue, on ignore s'il peut exister d'autre forme du phénomène.

Cependant M. Bertin a fait faire un pas à la question : en ajoutant aux conditions du problème, une condition nouvelle, d'ailleurs très vraisemblable, il a pu obtenir, par l'intégration, les équations de la houle trochoïdale. Dans le mémoire cité ici, le sujet est traité au même point de vue, et avec la même rigueur, mais par des méthodes géométriques très élémentaires. Loin d'être moins fécondes que les méthodes analytiques très délicates employées jusqu'alors, ces méthodes ont permis d'établir en quelques mots la loi du mouvement du centre de gravité d'une masse liquide quelconque dans le phénomène. Cette loi importante avait été l'objet de recherches analytiques restées infructueuses dans un mémoire antérieur sur la houle (1875. *Revue maritime*, t, 46).

3) Théorie nouvelle de la stabilité de l'équilibre des corps flottants[1]. — (1879. *Revue maritime*, t. 60. — *Cours autographié du Génie maritime*, 1886, p. 150, 152 et suiv. — Traduit et publié *in extenso* par Sir Edward J. Reed, dans son traité sur la stabilité des navires. 1885.)

Lors de la publication de ce mémoire, le problème de la stabilité n'était traité que pour des dérangements ou des ébranlements infiniment petits; de plus, aucune des démonstrations du principe du métacentre n'était à l'abri de critiques. Le sujet est traité ici dans toute sa généralité et en toute rigueur. Les résultats obtenus sont les suivants :

1. Conditions nécessaires et suffisantes à la stabilité de l'équilibre d'un flotteur quelconque. — 2. Étant donné un flotteur en équilibre stable, si l'on imprime au système (liquide et flotteur) un dérangement ou un ébranlement quelconques, les oscillations que pourra prendre le flotteur dans la période d'agitation, définies par les positions que prendra dans le corps la verticale menée par son centre de gravité, seront limitées par un cône ayant ce point pour sommet et dont la forme peut être délimitée a priori, *connaissant la quantité d'énergie troublante imprimée au système. — 3. L'absorption de l'énergie par les résistances passives a pour effet de réduire sans cesse l'ouverture du cône d'oscillation; ce cône se réduit à une ligne droite, la verticale d'équilibre, quand l'énergie a été totalement absorbée. — 4. Si le flotteur est susceptible de plusieurs positions d'équilibre stable, il peut arriver*

1. Cette théorie n'est exposée *in extenso* que dans le mémoire original et dans la traduction anglaise de Sir Edward J. Reed.

que l'énergie troublante imprimée soit assez grande pour que le flotteur abandonne sa position primitive et se fixe dans une autre, c'est-à-dire vienne à chavirer. *Ce cas ne peut se présenter que si le cône d'oscillation correspondant à l'énergie troublante contient, à l'origine, au moins deux normales d'équilibre ; il arrive alors un instant où ce cône, en se fermant par la diminution de l'énergie, se divise en deux ou plusieurs cônes partiels contenant chacun une normale d'équilibre; et le flotteur viendra se fixer définitivement suivant la normale correspondant à celui de ces cônes dans lequel se trouvait la verticale au moment de son isolement. La quantité d'énergie nécessaire pour faire chavirer un flotteur est donc au moins égale à celle pour laquelle le cône d'oscillation est formé de deux cônes tangents. Cette quantité d'énergie constitue la mesure finie de la stabilité de la position considérée; elle peut être déterminée* a priori *pour toutes les positions d'équilibre d'un flotteur donné.*

Ainsi qu'on le voit, tous les côtés du problème ont été traités; les solutions sont obtenues par des méthodes très élémentaires mais rigoureuses, c'est-à-dire sans autre réserve que l'incompressibilité du liquide et l'invariabilité du flotteur.

4) Variations de la stabilité des navires. — (1883. *Revue maritime*, t. 79. — *Cours autographié du Génie maritime*, 1886, p. 108, 168 et 170. — Mémoire récompensé de la première médaille d'or attribuée aux travaux adressés à la *Revue maritime*, par une commission dont faisait partie M. Dupuy de Lôme.)

Ce travail traite principalement des variations que subit la stabilité d'un navire par suite de variations dans l'état du chargement. La solution de ce problème peut être déduite de la détermination, par les méthodes usuelles, de la stabilité du navire dans les deux états; mais on conçoit aisément combien, dans une question d'application aussi fréquente, une règle concise et exacte peut être utile, d'une part à l'officier de marine pour apprécier à vue les modifications que l'addition d'un chargement peut apporter aux qualités de son navire, et d'autre part à l'ingénieur pour choisir les formes les meilleures au point de vue qui nous occupe. La règle communément admise avant ce travail, règle classique ainsi qu'il résulte du *Cours autographié* professé à l'École du génie maritime en 1877 (p. 150), était *que l'addition d'un poids augmente ou diminue la stabilité initiale suivant qu'elle a lieu en dessous ou en dessus de la flottaison.* A cette règle, il est vrai, était jointe la réserve qu'il s'agissait d'un poids assez petit; mais cette circonstance

n'ajoute rien à son exactitude, car la partie qu'elle néglige est proportionnelle à la partie conservée et peut même lui être supérieure.

Il résulte de ce mémoire que, *pour obtenir le couple additif ou soustractif résultant de l'addition d'un poids, il suffit de considérer la courbe des flottaisons comme courbe des centres de carène d'un flotteur idéal dont le centre de gravité serait situé au lieu où le poids a été ajouté*[1].

La courbe des flottaisons, qui jusqu'alors n'avait été envisagée qu'à un point de vue purement spéculatif, a acquis ainsi une importance pratique presque aussi grande que celle des centres de carène. Pour caractériser les nouvelles propriétés ainsi mises en lumière, j'ai donné à son centre de courbure initial le nom de *métacentre différentiel,* et à sa développée celui de *développée métacentrique différentielle.*

Il résulte de ces propriétés que la stabilité initiale reste constante, augmente ou diminue suivant que le poids ajouté est placé au métacentre différentiel, au-dessous ou au-dessus de ce point. Par suite, pour faciliter l'établissement des plans de formes de navires à chargement variable satisfaisant à des conditions données, il convenait de faire connaître l'influence des formes extérieures sur la position du métacentre différentiel, j'ai montré que, les formes étant sensiblement cylindriques dans la maîtresse partie, ce point était situé vers l'intersection des normales aux deux murailles à la flottaison pour le navire droit, et, pour le navire incliné, à égales distances des points où ces normales rencontrent la perpendiculaire élevée au milieu de la flottaison. Il résulte de là que, pour les embarcations dont la stabilité doit croître avec l'embarquement du personnel, les murailles doivent être évasées vers le haut, de manière que leurs normales se croisent au-dessus des bancs de nage ; pour les navires à vapeur rapides dont le chargement principal est formé par le combustible, ces normales doivent se croiser dans le voisinage du centre de gravité des soutes, si l'on veut que la stabilité varie peu pendant la consommation du combustible.

Indépendamment des questions relatives aux variations de poids, le mémoire contient diverses applications des principes nouveaux de la stabilité différentielle aux questions relatives au lest liquide et à l'échouage. Il y est montré notamment que l'on peut attribuer aux navires des formes telles que la stabilité initiale augmente au début d'un échouage au lieu de diminuer comme on l'admettait d'une manière générale. (*Cours autographié de l'École du génie maritime,* 1877, p. 171 et 173.)

1. Cette règle suppose que la tranche immergée est d'épaisseur négligeable. La théorie a été complétée, c'est-à-dire étendue aux variations quelconques de poids, dans un chapitre de la *Théorie du navire.* (Voir ci-après.)

Pour faire connaître l'état des connaissances acquises sur la matière lors de la publication de ce mémoire, nous avons dû citer les règles formulées dans le *Cours du Génie maritime* en 1877 ; il est juste maintenant d'ajouter que cette théorie nouvelle a été déduite de la généralisation d'un théorème très simple démontré dans le même ouvrage (p. 151). Il est permis de dire que l'importance de ce théorème avait échappé jusque-là, puisque la formule à laquelle il a conduit est donnée sans commentaires et que, dans toutes les questions auxquelles ses conclusions eussent été applicables, on trouve formulées des règles en contradiction avec elles. Nous ajouterons en outre que ce théorème ne concerne que la stabilité initiale et statique, tandis que la théorie de la stabilité différentielle s'applique à toutes les inclinaisons et à la stabilité dynamique.

5) Pesanteur apparente à bord des navires à la mer. (1885. *Revue maritime*, t. 84.) — Les effets dynamiques des mouvements du navire à la mer sur le matériel embarqué n'avaient été étudiés, lors de la publication de ce travail, que dans des cas particuliers et principalement en vue des surcharges qu'apportent ces mouvements aux liens qui maintiennent le matériel du bord ; c'est en effet ce côté de la question qui intéresse plus particulièrement l'ingénieur. Le problème est traité dans ce mémoire à un point de vue nouveau, qui intéresse plutôt l'officier de marine, celui de la direction réelle de la force qui sollicite les corps suspendus en pendules à courte période, les petits niveaux liquides et les corps posés sur appuis, force à laquelle ces objets obéissent à la mer comme ils obéissent au mouillage à la pesanteur. J'ai donné à cette force le nom de *pesanteur apparente*, conformément à l'expression adoptée pour la résultante de la gravité et de la force centrifuge de la terre, et à cause de l'analogie de ses effets à la mer avec ceux de la pesanteur au mouillage.

Le but de ce travail était de montrer la grandeur et les inconvénients des erreurs que l'on peut commettre en confondant, comme on le faisait communément alors, la verticale apparente avec la verticale vraie, de donner l'explication exacte des avantages réalisés en suspendant les instruments délicats tels que les chronomètres, et surtout de mettre fin aux recherches nombreuses ayant pour objet la réalisation d'un instrument fondé sur le principe des niveaux liquides pour la mesure des hauteurs des astres à la mer.

La confiance dans la verticalité des pendules à bord avait été fort ébranlée, il est vrai, par la publication des expériences de M. Froude, en Angleterre, et de M. Bertin, en France; mais il était loin d'en être de même pour les niveaux liquides dont les propriétés n'avaient pas eu l'occasion d'être

signalées dans les travaux sur le roulis[1]. Il suffit, pour justifier cette assertion, de citer quelques-uns des nombreux instruments fondés sur leur principe, proposés par des officiers et accueillis par les personnes les plus autorisées. (*Amiral Lejeune,* Lunette à niveau, *Revue maritime,* 1875, t. 47. — *Decante,* lieut. de vaisseau, Lunette à niveau, *Revue maritime,* 1881, t. 71 ; 1883, t. 79 ; 1884, t. 83. — Cercle Renouf, *Comptes rendus,* 1884, t. 98, etc.)

Après avoir déterminé la direction et l'intensité de la pesanteur apparente, j'ai montré théoriquement, et par une expérience exécutée à bord du *Borda,* que, même dans des mouvements d'une grande douceur, la verticale apparente des niveaux et des pendules, loin d'être utilisable pour la mesure des roulis, pouvait indiquer des inclinaisons contraires aux inclinaisons réelles. Pour ce qui concerne les hauteurs des astres, notamment, j'ai fait voir qu'un instrument tel que le cercle Renouf, entre les mains d'un observateur placé dans la nacelle d'une balançoire, imitant les mouvements d'un navire, tendait à donner l'angle de la direction de l'astre avec la corde de suspension à tout instant.

J'ai montré également que la suspension des chronomètres avait pour effet, à la mer, de ranger ces instruments délicats par rapport à la verticale apparente comme ils le sont au mouillage par rapport à la verticale vraie, et que l'avantage de ce dispositif consistait en ce que les différentes pièces de l'instrument trouvaient leurs appuis disposés pour la pesanteur apparente comme ils le sont au repos pour la pesanteur vraie, etc., etc.

Depuis la publication de ce travail, aucune proposition nouvelle n'a été faite pour l'application à la mer des propriétés des niveaux.

6) Développements de géométrie du navire. (En collaboration avec M. Simart, *Mémoires des savants étrangers,* tome 30. — *Théorie du navire,* par MM. Pollard et Dudebout.)

L'objet de ce mémoire est, comme l'indique son titre, surtout théorique. Il consiste dans la détermination des équations de la courbe des centres de carène et de celle des flottaisons, connaissant l'équation des murailles du

---

1. On démontre aisément qu'un pendule court placé sur un flotteur infiniment petit, reste normal aux ondes. M. Bertin et M. Froude ont imaginé simultanément un instrument fondé sur ce principe (Oscillographe double) composé de deux pendules, l'un à très courte et l'autre à très longue période, et muni d'un enregistreur automatique. Le deuxième pendule restant sensiblement vertical dans le mouvement, l'appareil placé sur un flotteur infiniment petit donnerait à la fois l'inclinaison du flotteur et celle de la normale aux ondes, et enregistrerait par suite simultanément le roulis et le profil des lames qui l'occasionnent. Bien que la légitimité de l'extension de ce principe aux navires, dont le tirant d'eau est en général supérieur à la hauteur totale des lames, fût de nature à soulever quelques objections, la publication des expériences effectuées avec ces ingénieux appareils avait suffi à détruire l'erreur encore très répandue que les petits pendules restaient verticaux à bord.

navire dans le système de coordonnées rectangulaires adopté pour les plans de construction. On ne connaissait alors du sujet que les expressions des rayons de courbure de ces deux courbes à l'origine, dues l'une à *Bouguer*, l'autre à M. l'ingénieur *Émile Leclert* (1870, *Mémorial du Génie maritime*). *Bravais* avait donné, il est vrai, dans sa thèse pour le doctorat, une expression du deuxième coefficient du développement de l'équation de la courbe des centres de carène; mais cette expression était très compliquée, et la méthode employée par le savant officier de marine n'était pas susceptible d'être étendue à une approximation supérieure.

Ce mémoire donne la loi générale de formation des coefficients successifs des deux équations écrites sous la forme de développements, et montre notamment que ces coefficients sont des fonctions linéaires de quantités de la forme

$$\frac{d^n A^{p'}}{dz^n} \quad \text{avec} \quad A^p = \int y^p \, dx,$$

l'équation des parois étant supposée de la forme

$$y = f(x, z),$$

et rapportée à un système d'axes : OX parallèle à la quille, OY horizontal et transversal, OZ vertical.

Indépendamment de l'intérêt théorique qu'offre ce mémoire [1], en établissant d'une manière définitive la loi complète de dépendance qui existe entre les courbes des centres de carène et des flottaisons et les parois du navire, la simplicité des résultats obtenus a permis dès maintenant d'en faire l'application pratique à la détermination des éléments de la stabilité connaissant seulement les coordonnées rectangulaires fournies directement par les plans de formes. Des tables donnant les 5es et 7es puissances des nombres, ainsi que des tableaux pour l'exécution des calculs, ont été préparés en vue de cette application; ces tables et tableaux ont été imprimés et distribués aux Directions des constructions navales par l'Administration de la marine [2].

Ce mémoire, publié une première fois en 1887 dans la *Théorie du navire*, contenait d'importantes lacunes; repris en collaboration avec M. Simart, il fut complété et l'Académie des sciences en a décidé l'insertion au *Recueil des savants étrangers*, t. 30 (séance du 14 mars 1887).

---

1. Il n'est pas inutile d'insister sur le côté théorique du mémoire; car il paraît avoir été envisagé jusqu'ici plutôt au point de vue de son utilisation pratique immédiate. Les ouvrages qui l'ont reproduit, au lieu de le classer dans la géométrie du navire, le placent en effet parmi les méthodes pratiques dans lesquelles les éléments de la stabilité sous des angles finis sont obtenus par des interpolations graphiques.

2. L'application de cette méthode a été faite notamment au cuirassé *le Hoche* et à l'un des beaux types de croiseurs dont M. de Bussy a doté la flotte nationale (le *Dupuy-de-Lôme*).

7) Théorie du navire. (1 vol. in-8°, Berger-Levrault et Cie, 1877, couronné par l'Académie des sciences, 1887.) — Cet ouvrage contient les théories précédentes coordonnées en corps de doctrine avec les résultats acquis antérieurement. Il contient en outre divers résultats nouveaux parmi lesquels :

1. *Influence de la forme du maître couple sur celle de la développée métacentrique à l'origine.* — (*Cours autographié du Génie maritime,* 1886, p. 124). Le bras du levier de la stabilité ne dépend pour les petites inclinaisons que de la hauteur du métacentre au-dessus du centre de gravité; mais, quand l'inclinaison augmente, il croît ou décroît plus ou moins rapidement, suivant que la développée est ascendante ou descendante à l'origine. Il était donc intéressant de connaître l'influence des formes extérieures des navires sur celle de la développée. De l'analyse des propriétés du flotteur cylindrique à section elliptique, flottant le grand axe ou le petit axe vertical, on avait pensé pouvoir conclure que la développée était ascendante ou descendante suivant que le rayon de courbure des normales aux murailles à la flottaison allait en croissant ou en décroissant (*Cours autographié de l'École du génie maritime,* 1877, p. 125). J'ai montré que cette propriété dépend de la grandeur du rayon de courbure de la muraille et non de sa variation, c'est-à-dire que la développée est descendante ou ascendante suivant que le centre de courbure est du même côté de l'axe que la muraille ou de l'autre côté de l'axe.

2. *Étude des propriétés d'une nouvelle surface* (des centres des tranches isocarènes). Cette surface intervient dans l'étude des variations de la stabilité pour des additions de poids considérables comme la surface des flottaisons pour les petites. Ces propriétés ont été utilisées par M. Dudebout dans une intéressante théorie nouvelle du soufflage (*Théorie du navire,* Pollard et Dudebout, t. I, p. 253 et 315 à 320; t. II, p. 104).

3. *Propulsion.* — Le chapitre relatif à la propulsion contient l'explication précise, n'existant jusqu'alors dans aucun ouvrage, des manœuvres du halage, des dérives en rivière, de la godille, etc.

4. Enfin, le chapitre relatif aux gouvernails et aux girations contient une analyse spéciale des courbes de giration, et un certain nombre de conclusions pratiques pour les évolutions en escadre et dans le voisinage des dangers.

8) Cours de théorie du navire de l'École navale (1880-1881, autographié), cité ici pour mémoire; c'est un abrégé plus élémentaire de la *Théorie du navire,* publiée cinq ans plus tard.

II

NAVIGATION

---

1) Courbes de hauteur. (*Cours autographié de l'École navale*, 1881-1882; et *Cours d'astron.*, par M. Caspari, t. II, p. 241 et suiv.) — On nomme ainsi en navigation les courbes qui représentent sur la carte de Mercator les cercles de la Terre. Depuis la généralisation de l'emploi de la méthode des lieux géométriques pour la détermination du point, l'étude de ces courbes a acquis une grande importance; la mesure d'une hauteur à la mer à un instant donné d'un chronomètre réglé fournit en effet à l'observateur, pour lieu géométrique de la position du navire, le petit cercle de la Terre qui a pour centre la projection de l'astre et pour rayon sphérique sa distance zénithale. L'analyse des propriétés de ces courbes avait fait l'objet de divers mémoires de MM. Estignard, Fasci, Yvon-Villarceau, Hilleret. Ces auteurs avaient été conduits à les classer en trois catégories: 1° les *courbes ovales* représentant les cercles qui laissent les deux pôles hors de leur contour, 2° les courbes ondulées (comme la sinusoïde) représentant ceux qui séparent les pôles, 3° enfin, les courbes en forme de parabole représentant les cercles passant par un des pôles.

En étudiant la question en vue du cours dont j'étais chargé, j'ai été conduit aux propriétés suivantes, qui, malgré leur importance, n'avaient pas été aperçues: *1° les courbes ovales qui représentent des cercles inscrits dans un même fuseau sont superposables; 2° les courbes ondulées sont superposables lorsque les cercles qu'elles représentent sont inscrits entre des parallèles dont la distance sur la carte de Mercator est la même; 3° il n'existe pas une famille de courbes en forme de parabole, mais une courbe unique*; *de sorte que tous les cercles passant par un pôle sont représentés par une même courbe dont la position seule varie sur la carte.*

J'ai montré enfin que les grands cercles qui faisaient jusqu'alors l'objet d'un paragraphe spécial dans les programmes d'enseignement rentraient dans la deuxième catégorie, c'est-à-dire qu'une même courbe de cette catégorie représentait soit un grand cercle, soit un petit cercle, suivant sa position sur la carte par rapport à l'équateur.

Il résultait de ces propriétés que la forme d'une de ces courbes ne dépendait que d'un paramètre, sa hauteur sur la carte, et que, par suite, pour la tracer, il suffisait de connaître ce paramètre et la position de son centre.

Cette considération m'a permis de faire connaître une méthode nouvelle pour résoudre le problème du point avec les tables de latitudes croissantes. (Voir ci-après : *Tables de poche.*)

2) Distances lunaires. (*Cours autographié de l'École navale,* 1883-1884.) — Sur la foi d'une théorie incomplète des erreurs, il était admis que l'influence des erreurs des hauteurs sur la distance réduite était d'autant plus grande que la distance considérée était plus petite. Cependant l'expérience, maintes fois répétée, ayant montré que les distances de 10 à 15 degrés donnaient généralement des résultats plus précis que les grandes distances [1], on cessa de bannir ces dernières, expliquant la contradiction manifeste entre la théorie et l'application par ce fait que la facilité d'observation des petites distances compensait et au delà l'influence agrandie des erreurs des hauteurs.

Une étude nouvelle de la question m'a conduit à montrer que cette contradiction n'existait pas et que le problème n'avait pas été envisagé sous son véritable aspect dans les théories antérieures. Il existe en effet deux méthodes de réduction : dans la première on observe directement les hauteurs nécessaires au problème ; dans la seconde on les déduit par le calcul d'un *point* observé antérieurement. Dans le premier cas, les erreurs des hauteurs sont indépendantes l'une de l'autre, et il est exact de dire que les petites distances sont alors dangereuses ; dans le second, ces erreurs dépendent de l'erreur du point qui a servi à les calculer, et alors leur influence est *indépendante de la grandeur de la distance.* Il y a donc non pas compensation, mais tout avantage à choisir les plus petites distances dont l'observation est beaucoup plus aisée.

---

1. Cette remarque due, je crois, à l'amiral Mottez, fut vérifiée par MM. Perrin et Beuf, lieutenants de vaisseau. Actuellement, tous les officiers qui continuent à s'occuper de cet important sujet considèrent l'addition des petites distances dans la *C. des T.*, comme un des perfectionnements les plus précieux parmi ceux dont M. Lœwy a enrichi ce recueil.

L'avantage, il est vrai, n'existe que pour la deuxième méthode de réduction ; mais c'est cette méthode qui est exclusivement employée aujourd'hui à cause des difficultés pratiques de l'observation simultanée de deux hauteurs et d'une distance.

3) Tables de poche, donnant le point observé et les droites de hauteur. (1 vol. in-16, Berger-Levrault et Cie, 1884.) — Les propriétés qui ont servi de base aux méthodes de calcul indiquées dans ces tables sont déduites de celles des courbes de hauteurs mentionnées plus haut. Les *Tables de poche* ne contiennent que les *Latitudes croissantes* calculées en vue de la construction des cartes de Mercator de minute en minute ; elles suffisent néanmoins, à l'exclusion de toute autre table de logarithmes, pour calculer le point à la mer et par une méthode très expéditive. De sorte qu'avec un petit fascicule d'une vingtaine de feuillets et de format assez petit pour être inséré dans un portefeuille, l'officier de marine est en mesure de résoudre un problème qui, avec les autres méthodes, exige l'emploi de volumineuses tables de logarithmes.

Bien que les règles à suivre pour faire usage de ces tables soient très simples, leur démonstration est un peu longue et un peu délicate ; aussi ne m'a-t-il pas paru opportun de la donner dans le recueil. Elle n'a été publiée que quatre ans plus tard dans la note ci-après.

4) Calcul du point observé à l'aide des tables de Latitudes croissantes. (*Annales hydrographiques*, 1888.)

5) Nouveau système de projection de la sphère. (*Annales hydrographiques*, 1887 et *Revue maritime; Comptes rendus*, 1886.) — Ce système de projection est déduit d'un mode de représentation géométrique des *fonctions elliptiques*. Les seuls modes de projection appliqués à la sphère entière et qui conservent les angles sont la projection de Mercator et la projection stéréographique. Le premier offre l'inconvénient de ne pas contenir les pôles et d'agrandir avec exagération les régions placées au nord des continents ; le second offre celui non moins grand de représenter les deux hémisphères dans des cartes distinctes.

Le système dont il s'agit ici conserve, comme les précédents, la similitude des petites régions, et fournit l'image de la sphère entière dans une figure unique et sans déchirure. Il est particulièrement propre à la représentation de l'ensemble des deux continents dont il fait bien ressortir les positions relatives, soit en longitude, soit autour des pôles. Enfin les variations de l'échelle, dans l'étendue des continents, sont assez faibles pour que les figures d'en-

semble soient peu altérées, et que les grandeurs relatives de régions éloignées restent aisément comparables.

Dans ce mode de projection, la sphère est supposée recouverte d'un réseau formé par deux familles d'ellipses sphériques homofocales et par suite orthogonales. Les quatre foyers sont placés à une même distance arbitraire des deux pôles sur un même méridien. Ces deux familles d'ellipses sont représentées sur la carte par deux familles de droites orthogonales, dont l'espacement est déterminé par la condition de conserver la similitude des régions. Par suite les méridiens et les parallèles de la terre sont représentés par un réseau de courbes orthogonales.

La projection de Mercator est le cas particulier de ce mode général dans lequel les quatre foyers coïncident avec les pôles.

6) Description et usage des instruments nautiques. (Imprimerie Nationale, 1889. *Publication du service hydrographique de la marine.*) — Cet ouvrage est le premier de cette nature qui ait été publié en France. Il contient, avec la description des instruments de précision réglementaires sur les bâtiments de l'État, les principes théoriques sur lesquels ils sont fondés, ainsi que les indications nécessaires à leur emploi. Il contient notamment une théorie succincte des déviations des compas présentée sous une forme nouvelle ; il y est montré que la force qui trouble les indications de l'aiguille est la résultante de trois forces constantes en intensité et fixes par rapport à trois systèmes d'axes qui tournent suivant une loi simple l'un par rapport à l'autre. Cette remarque a conduit à la construction de deux nouveaux *dygogrammes* (diagrammes donnant l'intensité et la direction de la force) composés de deux cercles et dont, par suite, le tracé est beaucoup plus simple que les constructions indiquées antérieurement et qui contiennent soit des ellipses, soit le limaçon de Pascal.

Les propriétés mécaniques des roses des compas ont été également analysées, et il y est indiqué un principe nouveau, savoir que ces objets doivent être construits de manière que les balancements autour d'axes horizontaux soient rapides.

Cet ouvrage a été l'objet d'un prix de l'Académie des siences en 1892.

7) Prédiction des éclipses du soleil pour l'année 1891. (*Annales hydrographiques,* 1891.) — Les éclipses de soleil, qui fournissent un moyen rapide et facile de déterminer les longitudes, ne sont pas employées par les marins à cause des calculs préliminaires qu'exige cette méthode, d'abord pour s'assurer qu'il est utilisable dans le lieu d'observation, puis pour déterminer

les instants approchés des diverses phases. Il existe, il est vrai, des constructions graphiques donnant ces résultats, mais, pour obtenir une précision suffisante, ces épures doivent être tracées avec beaucoup de soin, et leur emploi devient alors plus long et plus délicat que les calculs eux-mêmes.

Cette note contient deux épures faites d'avance pour tous les lieux de la terre; il suffit de quelques traits pour les compléter, c'est-à-dire pour obtenir dans un lieu quelconque l'image du phénomène et les instants de ses phases.

La publication d'une épure de ce genre pour chacune des éclipses qui doivent se produire dans le cours de l'année suivante faciliterait notablement l'utilisation de ces phénomènes à la mer.

8) Cercle à calcul pour micromètre Fleuriais. — La mesure des distances des navires entre eux à la mer s'imposant fréquemment, soit dans les manœuvres d'escadre, soit dans le combat, M. le contre-amiral Fleuriais a eu l'idée de faire construire un sextant de petites dimensions spécialement destiné à cet emploi. Grâce aux dispositions de détail très ingénieuses de l'instrument, son emploi, jugé extrêmement pratique par tous les officiers, a été rendu réglementaire à bord des navires de l'État. Le cercle à calcul dont il s'agit ici est un accessoire du micromètre Fleuriais, destiné à fournir à vue la distance d'un navire, connaissant sa hauteur de mâture et l'angle sous lequel cette hauteur est aperçue. Il est basé sur le principe de la règle à calcul et sur cette propriété que, dans les limites des grandeurs angulaires que peut mesurer le micromètre, la tangente est proportionnelle à l'arc.

9) Communications au Bureau des Longitudes. — *Mémoire manuscrit présenté en 1886*, contenant diverses propositions relatives à la *Connaissance des Temps* en vue de faciliter les calculs de navigation. Ce mémoire, accueilli avec bienveillance par le Bureau, a été l'occasion de diverses améliorations. Les heures des passages des planètes au méridien ont été données à la seconde et leurs insertions ont été étendues à toutes les époques où ces astres sont observables hors du méridien.

La *Connaissance des Temps* donne également depuis cette époque les dates locales des temps locaux des passages de la lune au méridien, sans lesquelles les marins étaient obligés autrefois de faire un calcul préliminaire pour éviter les erreurs de date.

Note présentée en 1889 par M. Bouquet de la Grye, faisant remarquer que les corrections indiquées par Newcomb pour l'ascension droite et la déclinaison de la lune ne font pas sortir sensiblement cet astre de la trajectoire que lui attribuent les tables de Hansen, et que, par suite, on peut tenir compte

de ces deux corrections à la fois par une correction unique de l'instant de l'éphéméride. De plus, l'examen de la valeur de cette correction montre qu'elle augmente uniformément de 0,1 de seconde par mois.

10) Nouvelles éphémérides astronomiques pour l'année 1891. — Cet ouvrage a été publié à titre de spécimen pour faire connaître une nouvelle forme d'éphémérides ramenant tous les calculs à la mer à un type unique, quel que soit l'astre observé.

11) Participation aux travaux hydrographiques du commandant Mouchez en Tunisie (1876).

12) Travaux hydrographiques partiels dans les fleuves de Cochinchine (1873-1874).

III

DIVERS

---

1) Cinématique et dynamique des ondes courantes sur un sphéroïde liquide. Application à l'évolution de la protubérance d'un sphéroïde liquide déformé par l'attraction d'un astre éloigné. (*Journal de mathématiques pures et appliquées,* 3e série, t. V, février 1879.)

2) Note sur les approximations numériques. (*Nouvelles Annales de mathématiques,* 1889.)

3) Traité de trigonométrie rectiligne et sphérique. (Berger-Levrault et Cie, 1 vol. 1890.)

4) Sur une solution élémentaire du problème de gyroscope de Foucault. (*Comptes rendus,* 1888.)

5) Note relative à l'erreur probable d'un système d'observations. (*Comptes rendus,* 1888.)

6) Cours d'astronomie, en cours de publication. Cet ouvrage est fait en collaboration avec M. Willotte, ingénieur des ponts et chaussées, qui a traité la partie physique et descriptive.

IV

TITRES ET FONCTIONS SCIENTIFIQUES

1) **Médaille d'or de la Revue maritime en 1884.** (*Variations de la stabilité des navires.*)

2) **Deux fois lauréat de l'Institut.** (1887, *Théorie du navire;* 1891, *Description et usage des instruments nautiques.*)

3) **Mémoire inséré au t. XXX du Recueil des savants étrangers.** (*Développements du navire,* en collaboration avec M. Simart.)

4) **Professeur à l'École navale de théorie du navire,** de 1879 à 1881, **et d'astronomie et de navigation,** de 1881 à 1885.

5) **Examinateur d'admission à l'École navale,** depuis 1884.

6) **Chef du service technique des instruments de navigation,** depuis 1885.

Services Militaires
30 Années dont 20 à la mer, sur lesquelles 8 hors d'Europe.

Nancy, imprimerie Berger-Levrault et Cie.